

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-312416

(43)Date of publication of application : 02.12.1997

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 08-150272

(71)Applicant : TOYODA GOSEI CO LTD

(22)Date of filing : 21.05.1996

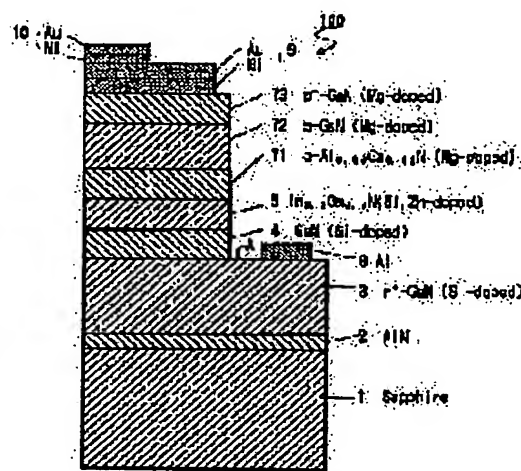
(72)Inventor : ASAMI SHINYA  
KOIKE MASAYOSHI

## (54) FAMILY-3 NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a blue light emitting element which can increase its light emitting intensity and prolong its operational life.

**SOLUTION:** Sequentially formed on a luminous layer 5 made of  $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$  are an Mg-doped cladding layer 71 of p- $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$  having a thickness of about 10nm, a first Mg-doped contact layer 72 of p-GaN having a thickness of about 35nm, and a second Mg-doped contact layer 73 of p-GaN having a thickness of about 5nm. An overall thickness of the cladding and contact layers 72 and 73 are made 1/30 to 1/2 smaller than an overall thickness of corresponding ones of a prior art. A temperature exposure time of the luminous layer 5, after grown, can be set to 1/30 to 1/2 smaller than that of the prior art light emitting diode, etc., at 1.3 to 20 minutes. As a result, the diffusion of indium of the luminous layer into the cladding layer as well as the evaporation of nitrogen and the diffusion of impurity atoms of the cladding and contact layers into the luminous layer can be prevented, thus improving the crystallization of the luminous layer.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.05.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3209096

[Date of registration] 13.07.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 3 1 2 4 1 6

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 12 月 2 日

(51) Int. Cl.

H01L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H01L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 1 5 0 2 7 2  
(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 5 月 2 1 日

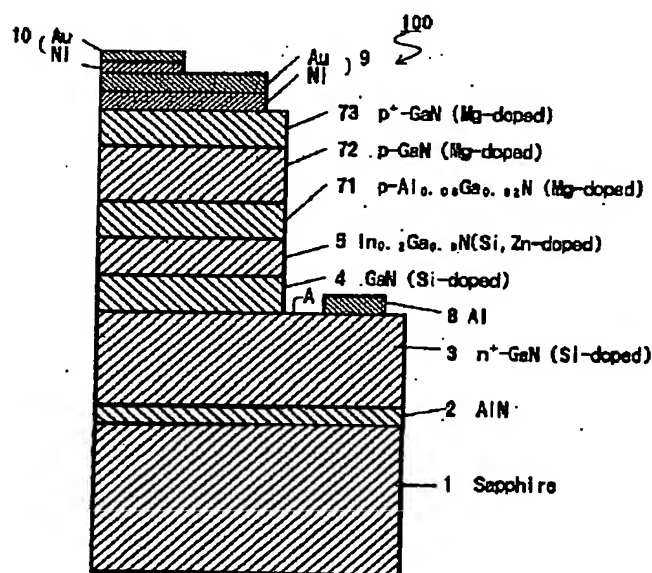
(71) 出願人 0 0 0 2 4 1 4 6 3  
豊田合成株式会社  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地  
(72) 発明者 浅見 慎也  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内  
(72) 発明者 小池 正好  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内  
(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

(54) 【発明の名称】 3 族窒化物化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 青色発光素子の発光強度の増加及び素子寿命の長期化

【解決手段】  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  から成る発光層 5 の上に、膜厚約 10 nm Mg ドープの  $\text{p-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  のクラッド層 7 1、膜厚約 35 nm、Mg ドープの  $\text{p-GaN}$  の第 1 コンタクト層 7 2、膜厚約 5 nm Mg ドープの  $\text{p}^+\text{-GaN}$  の第 2 コンタクト層 7 3 が形成されている。クラッド層 7 1 及びコンタクト層 7 2、7 3 は総合厚さが 10 nm ~ 150 nm と従来の発光ダイオードのそれらの総合厚さに比べて 1/30 ~ 1/2 に薄く形成されている。発光層 5 は成長後に発光層 5 の成長温度以上の温度にさらされる時間が 1.3 ~ 20 分と、従来の発光ダイオードに比べて 1/30 ~ 1/2 と短くすることができる。この結果、発光層のインジウムのクラッド層への拡散や、空素の蒸発が抑制されと共にクラッド層及びコンタクト層中の不純物原子の発光層への拡散も防止されるために、発光層の結晶性を改善することができた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 3 族空化物半導体から成る発光層と発光層の上に形成されるクラッド層とを有する発光素子において、

前記発光層を少なくともインジウム(In)を含む 3 族空化物半導体で構成し、

前記発光層の形成後に形成される 3 族空化物半導体から成るクラッド層及びその上に形成されるコンタクト層の総合厚さを 10~150nm としたことを特徴とする 3 族空化物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記クラッド層及び前記コンタクト層はアクセプタ不純物の添加された p 形半導体であることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 族空化物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記クラッド層は 3 元素系の  $Al_{1-y}Ga_yN$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) であり、前記コンタクト層は GaN であることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 族空化物半導体発光素子。

【請求項 4】 前記クラッド層及び前記コンタクト層はマグネシウム(Mg)が添加されていることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 族空化物半導体発光素子。

【請求項 5】 前記発光層はアクセプタ不純物とドナー不純物が添加されていることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 族空化物半導体発光素子。

【請求項 6】 前記アクセプタ不純物は亜鉛(Zn)であり、前記ドナー不純物は Si であることを特徴とする請求項 5 に記載の 3 族空化物半導体発光素子。

【請求項 7】 前記発光層は単一又は多重の量子井戸構造であることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 族空化物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は 3 族空化物半導体を用いた半導体素子に関する。特に、素子特性や信頼性に優れた半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、青色や短波長領域の発光素子の材料として  $AlGaInN$  系の化合物半導体を用いたものが知られている。その化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が低いこと、光の 3 原色の 1 つである青色及び緑色を発光色とすること等から注目されている。

【0003】  $AlGaInN$  系半導体においても、Mg をドーピングして電子線を照射したり、熱処理により p 型化できる。この結果、 $AlGaN$  の p 伝導型のクラッド層と、Zn と Si ドープの  $InGaN$  の発光層と、 $GaN$  の n 層とを用いたダブルヘテロ接合構造を有する発光ダイオード(LED) が提案されている。この発光ダイオードはサファイア基板の上にバッファ層、シリコンを高濃度に添加した n<sup>+</sup> 形  $GaN$  層、シリコンを添加した n 形  $GaN$  層からなるクラッド層、 $InGaN$  から成る発光層、p 形  $AlGaN$  のクラッド層、p 形  $GaN$  の第 1 コンタクト層、p<sup>+</sup> 形  $GaN$  の第 2 コンタ

クト層を形成したものである。そして、発光層は温度 800℃ で厚さ 100nm、p 形  $AlGaN$  のクラッド層は温度 1100℃ で厚さ 50nm、p 形  $GaN$  の第 1 コンタクト層は温度 1100℃ で厚さ 200nm、p<sup>+</sup> 形  $GaN$  の第 2 コンタクト層は温度 1100℃ で厚さ 50nm に形成されたものであり、クラッド層及びコンタクト層の総合成長時間は約 40 分程度である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、このような構造の発光ダイオードは、発光強度が未だ小さいという問題があった。そこで、本発明者らは発光強度の向上について研究を重ねた結果、次のことが新しく分かった。即ち、In を含む発光層を形成した後、発光層の成長温度よりも高い温度で、発光層の上に総合厚さ 300nm の p 伝導形層を形成するために、発光層がその成長温度よりも高い温度で長い時間さらされる。そのため、発光層の In がクラッド層に拡散したり発光層中の空素が蒸発したりして、発光層の結晶性が低下し、その結果、発光強度が大きくなりえないということが判明した。又、発光層上のクラッド層、コンタクト層はマグネシウムを添加して p 形半導体とするが、この高温でのクラッド層、コンタクト層の形成工程において、クラッド層に添加されたマグネシウムが発光層へと拡散し、発光層の結晶性を低下させることも判明した。

【0005】 本発明は、上記の知見に基づいて成されたものであり、本発明の目的は、発光層を形成後に、発光層が長時間高温にさらされないようにすることで、発光層の結晶性を改善し、発光効率を向上させ、素子寿命の長期化と信頼性の向上を図ることである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 請求項 1 の発明は、発光層を少なくともインジウム(In)を含む 3 族空化物半導体で構成し、発光層の形成後に形成される 3 族空化物半導体から成るクラッド層及びその上に形成されるコンタクト層の総合厚さを 10~150nm としたことを特徴とする。

【0007】 請求項 2 の発明はクラッド層及びコンタクト層はアクセプタ不純物の添加された p 形半導体とし、請求項 3 の発明はクラッド層を 3 元素系の  $Al_{1-y}Ga_yN$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) とし、コンタクト層を  $GaN$  としたことを特徴とする。又、請求項 4 の発明はクラッド層及びコンタクト層にマグネシウム(Mg)を添加して p 形化し、請求項 5 の発明は発光層にアクセプタ不純物とドナー不純物を添加し、請求項 6 の発明はそのアクセプタ不純物を亜鉛(Zn)とし、ドナー不純物を Si としたことを特徴とする。さらに、請求項 7 の発明は発光層を単一又は多重の量子井戸構造としたことを特徴とする。

【0008】

【発明の作用及び効果】 発光層の上に形成されるクラッド層及びコンタクト層は総合厚さが 10nm~150nm と従来の発光ダイオードのそれらの総合厚さに比べて 1/30~1/2 に薄く形成されている。したがって、発光層の形成後

に発光層の成長温度以上の温度にさらされる時間が1.3～20分と、従来の発光ダイオードに比べて1/30～1/2と短くすることができた。この結果、発光層のインジウムのクラッド層への拡散や、発光層中の空素の蒸発が抑制されると共にクラッド層及びコンタクト層中の不純物原子の発光層への拡散も防止されるために、発光層の結晶性を改善することができた。又、発光層の結晶性が改善できたために、発光強度及び素子寿命を増加させることができた。

【0009】さらに、発光層にアクセプタ不純物やドナー不純物を添加した場合には、その不純物が発光層からクラッド層へ熱拡散することも抑制され、発光強度を向上させることができる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定されるものではない。図1は本願実施例の発光素子100全体図を示す。発光素子100は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1上に0.05 $\mu$ mのAlNバッファ層2が形成されている。

【0011】そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約4.0 $\mu$ m、電子濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る高キャリア濃度 $n^+$ 層3、膜厚約0.5 $\mu$ mの電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブのGaNから成る $n$ 層4、膜厚約100nm、亜鉛(Zn)とシリコン(Si)ドーブがそれぞれ、 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ にドーブされたIn $_{0.15}$ Ga $_{0.85}$ Nから成る発光層5、膜厚約10nm、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドーブのAl $_{0.15}$ Ga $_{0.85}$ Nから成る $p$ 伝導型のクラッド層71、膜厚約35nm、ホール濃度 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドーブのGaNから成る第1コンタクト層72、膜厚約5nm、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドーブのGaNから成る $p^+$ の第2コンタクト層73が形成されている。そして、第2コンタクト層73の上面全体にNi/Auの2重層からなる透明電極9が形成されその透明電極9の隅の部分にNi/Auの2重層からなるボンディングのためのパッド10が形成されている。又、 $n^+$ 層3上にはAlから成る電極8が形成されている。

【0012】次に、この構造の半導体素子の製造方法について説明する。上記発光素子100は、有機金属気相成長法(以下MOVPE)による気相成長により製造された。用いられたガスは、アンモニア(NH $_3$ )、キャリアガス(H $_2$ )、トリメチルガリウム(Ga(CH $_3$ ) $_3$ ) (以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム(Al(CH $_3$ ) $_3$ ) (以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム(In(CH $_3$ ) $_3$ ) (以下「TMI」と記す)、シラン(SiH $_4$ )、ジエチル亜鉛(Zn(C $_2$ H $_5$ ) $_2$ ) (以下、「DEZ」と記す)とシクロペンタジエニルマグネシウム(Mg(C $_5$ H $_5$ ) $_2$ ) (以下「CP $_2$ Mg」と記す)である。

【0013】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とし、単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧でH $_2$ を流速2 liter/分で約30分間反応室に流しながら温度1100℃でサファイア基板1をベーキングした。

【0014】次に、温度を400℃まで低下させて、H $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMAを $1.8 \times 10^{-3}$ モル/分で約90秒間供給してAlNのバッファ層2を約0.05 $\mu$ mの厚さに形成した。次に、サファイア基板1の温度を1150℃に保持し、H $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMGを $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分、H $_2$ ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $20 \times 10^{-3}$ モル/分で40分導入し、膜厚約4.0 $\mu$ m、電子濃度 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $4 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る高キャリア濃度 $n^+$ 層3を形成した。

【0015】上記の高キャリア濃度 $n^+$ 層3を形成した後、続いて温度を1100℃に保持し、H $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、H $_2$ ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $10 \times 10^{-3}$ モル/分で30分導入し、膜厚約0.5 $\mu$ m、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る $n$ 層4を形成した。

【0016】続いて、温度を800℃に保持し、N $_2$ 又はH $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMGを $0.2 \times 10^{-4}$ モル/分、TMIを $1.6 \times 10^{-4}$ モル/分、H $_2$ ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $0.15 \times 10^{-3}$ mol/分で、DEZを $0.2 \times 10^{-4}$ モル/分で、30分間供給して厚さ100nmのシリコンと亜鉛が、それぞれ、 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ にドーブされたIn $_{0.15}$ Ga $_{0.85}$ Nから成る発光層5を形成した。

【0017】続いて、温度を1100℃に保持し、N $_2$ 又はH $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMGを $0.5 \times 10^{-4}$ モル/分、TMAを $0.47 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、CP $_2$ Mgを $2 \times 10^{-3}$ モル/分で2分間導入し、膜厚約10nmのマグネシウム(Mg)ドーブのAl $_{0.15}$ Ga $_{0.85}$ Nから成るクラッド層71を形成した。クラッド層71のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ である。この状態では、クラッド層71は、まだ、抵抗率 $10^4 \Omega \text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0018】次に、温度を1100℃に保持し、N $_2$ 又はH $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMGを $0.5 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、CP $_2$ Mgを $2 \times 10^{-3}$ モル/分で4分間導入し、膜厚約35nmのマグネシウム(Mg)ドーブのGaNから成る第1コンタクト層7.2を形成した。第1コンタクト層72のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第1コンタクト層72は、まだ、抵抗率 $10^4 \Omega \text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0019】次に、温度を1100℃に保持し、N $_2$ 又はH $_2$ を20 liter/分、NH $_3$ を10 liter/分、TMGを $0.5 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、CP $_2$ Mgを $4 \times 10^{-3}$ モル/分で1分間導入し、膜厚約5nmのマグネシウム(Mg)ドーブのGaNから成る $p^+$ の第2コンタクト層73を形成した。第2コ

ンタクト層73のマグネシウム濃度は  $1 \times 10^{11} / \text{cm}^2$  である。この状態では、第2コンタクト層73は、まだ、抵抗率  $10^4 \Omega \text{cm}$  以上の絶縁体である。

【0020】次に、電子線照射装置を用いて、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71に一樣に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10KV、資料電流  $1 \mu \text{A}$ 、ビームの移動速度  $0.2 \text{m/sec}$ 、ビーム径  $60 \mu \text{m}$ 、真空度  $5.0 \times 10^{-11} \text{Torr}$  である。この電子線の照射により、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71は、それぞれ、ホール濃度  $6 \times 10^{11} / \text{cm}^2$ 、 $3 \times 10^{11} / \text{cm}^2$ 、 $2 \times 10^{11} / \text{cm}^2$ 、抵抗率  $2 \Omega \text{cm}$ 、 $1 \Omega \text{cm}$ 、 $0.7 \Omega \text{cm}$  の p 伝導型半導体となった。このようにして多層構造のウエハが得られた。

【0021】次に、図2に示すように、第2コンタクト層73の上に、スパッタリングにより  $\text{SiO}_2$  層11を2000Åの厚さに形成し、その  $\text{SiO}_2$  層11上にフォトレジスト12を塗布した。そして、フォトリソグラフにより、図2に示すように、第2コンタクト層73上において、高キャリア濃度  $n^+$  層3に対する電極形成部位A'のフォトレジスト12を除去した。次に、図3に示すように、フォトレジスト12によって覆われていない  $\text{SiO}_2$  層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。

【0022】次に、フォトレジスト12及び  $\text{SiO}_2$  層11によって覆われていない部位の第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、発光層5、n層4を、真空度  $0.04 \text{Torr}$ 、高周波電力  $0.44 \text{W/cm}^2$ 、 $\text{BCl}_3$  ガスを10 ml/分の割合で供給しドライエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、図4に示すように、高キャリア濃度  $n^+$  層3に対する電極取出しのための孔Aが形成された。その後、フォトレジスト12及び  $\text{SiO}_2$  層11を除去した。

【0023】次に、一樣にNi/Auの2層を蒸着し、フォトレジストの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第2コンタクト層73の上に透明電極9を形成した。そして、その透明電極9の一部にNi/Auの2層を蒸着してパッド10を形成した。一方、 $n^+$  層3に対しては、アルミニウムを蒸着して電極8を形成した。その後、上記のごとく処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す構造の発光ダイオードを得た。この発光素子は駆動電流20mAで発光ピーク波長430nm、発光強度2000mcdであった。従来構造のLEDに比べて発光強度は2倍になった。

【0024】上記実施例において、コンタクト層は2層構造としたが1層構造でも良い。又、上記実施例において、クラッド層71、第1コンタクト層72、第2コンタクト層73の総合厚さは、50nmとし、これらの成長温度を1100℃とし、総合成長時間を7分としたが、総合厚さは10nm~150nmの範囲とすることが可能である。この場合には、これらの層の総合成長時間は1~20分である。10nmよりも薄いとクラッド層71のキャリアの

閉じ込め効果が低下すると共に第1コンタクト層72、第2コンタクト層73が薄くなり、オーミック性が悪化し、接触抵抗が増大するので望ましくない。又、150nmよりも厚いと、成長に時間がかかり、発光層5がその成長温度以上の温度にさらされる時間が長くなり、結晶性の改善効果が低下するので望ましくない。

【0025】又、クラッド層71の厚さは2nm~70nm、第1コンタクト層72の厚さは2nm~100nm、第2コンタクト層73の厚さは2nm~50nmが望ましい。クラッド層71の厚さが2nmよりも薄いと、キャリアの閉じ込め効果が低下するため発光効率が低下するので望ましくない。第1コンタクト層72の厚さが2nmよりも薄いと、注入されるホール数が減少するので発光効率が低下するので望ましくない。第2コンタクト層73が2nmよりも薄いと、オーミック性が悪くなり接触抵抗が増大するので望ましくない。又、各層が上記の上限厚さを越えると、発光層がその成長温度以上に曝される時間が長くなり発光層の結晶性の改善効果が低下するので望ましくない。

【0026】又、クラッド層71のホール濃度は  $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$  が望ましい。ホール濃度が  $1 \times 10^{11} / \text{cm}^2$  以上となると、不純物濃度が高くなり結晶性が低下し発光効率が低下するので望ましくなく、 $1 \times 10^{11} / \text{cm}^2$  以下となると、直列抵抗が高くなり過ぎるので望ましくない。

【0027】第1コンタクト層72は、マグネシウム(Mg)が  $1 \times 10^{11} \sim 5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$  の範囲で第2コンタクト層73のマグネシウム(Mg)濃度より低濃度に添加されp伝導型を示す層とすることで、その層のホール濃度を  $3 \times 10^{11} \sim 8 \times 10^{11} / \text{cm}^2$  と最大値を含む領域とすることができる。これにより、発光効率を低下させることがない。

【0028】第2コンタクト層73は、マグネシウム(Mg)濃度を  $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$  とする場合が望ましい。マグネシウム(Mg)が  $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$  に添加されたp伝導型を示す層は、金属電極に対してオーミック性を向上させることができるが、ホール濃度が  $1 \times 10^{11} \sim 8 \times 10^{11} / \text{cm}^2$  とやや低下する。(駆動電圧5V以下にできる範囲を含む、オーミック性の改善からMg濃度が上記の範囲が良い。)

【0029】発光層5は、低温成長が要求されるインジウムが少なくとも含まれている2元、3元、4元の3族空化物半導体であれば構成元素の組成比は任意のものが使用できる。又、クラッド層71、第1コンタクト層72、第2コンタクト層73に関しては、発光層5よりもバンドギャップの広い半導体が要求される。これらの層も2元、3元、4元の3族空化物半導体を用いることができる。発光層5よりもバンドギャップを広くするためには、これらの層は、発光層に比べてインジウムの組成比が少なくなり、アルミニウムの組成比が多くなる。こ

7

のため、クラッド層 7 1、第 1 コンタクト層 7 2、第 2 コンタクト層 7 3 の成長温度は発光層の成長温度よりも高くなる。

【0030】又、発光層 5 のシリコン濃度及び亜鉛濃度は、それぞれ、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  が望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以下であると、発光中心不足により発光効率が低下し、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  以上となると、結晶性が悪くなり、又、オージェ効果が発生するので望ましくない。さらに好ましくは  $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  の範囲が良い。又、シリコン(Si)の濃度は、亜鉛(Zn)に比べて、10倍～1/10が好ましく、さらに好ましくは 1～1/10の間程度か、少ないほうがより望ましい。

【0031】又、上記の実施例では、発光層 5 にシリコンと亜鉛とを添加しているが、発光層 5 を不純物無添加としても良い。さらに、上記の実施例では、発光層 5 は単層で構成したが、一般式  $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{In}_{y_1}\text{N}$  ( $0 \leq x_1 \leq 1, 0 \leq y_1 \leq 1, 0 \leq x_1 + y_1 < 1$ ) の井戸層と一般式  $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{In}_{y_2}\text{N}$  ( $0 \leq x_2 \leq 1, 0 \leq y_2 \leq 1, 0 \leq x_2 + y_2 \leq 1$ ) のバリア層とから成る単一又は多重量子井戸構造に構成しても良い。その場合に、井戸層又はバリア層にドナー不純物とアクセプタ不純物を同時に添加しても良いし、井戸層にドナー不純物又はアクセプタ不純物を添加し、バリア層に、逆に、アクセプタ不純物又はドナー不純物を添加しても良い。さらに、井戸層もバリア層も不純物無添加であっても良い。又、本発明は発光ダイオードの他、レーザダイオードにも用いることができる。

【0032】アクセプタ不純物は、2 族元素のベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)を用いても良い。2 族元素をアクセプタ不純物とした場合には、ドナー不純物として、4 族元素で

ある炭素(C)、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、錫(Sn)、鉛(Pb)を用いることができる。又、4 族元素をアクセプタ不純物とした場合には、ドナー不純物として、6 族元素のイオウ(S)、セレン(Se)、テルル(Te)を用いることもできる。p 型化は、電子線照射の他、熱アニーリング、 $\text{N}_2$  プラズマガス中での熱処理、レーザ照射により行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の具体的な実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図 2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【符号の説明】

100 … 半導体素子

1 … サファイア基板

2 … バッファ層

3 … 高キャリア濃度  $n^+$  層

4 …  $n$  層

5 … 発光層

7 1 … クラッド層

7 2 … 第 1 コンタクト層

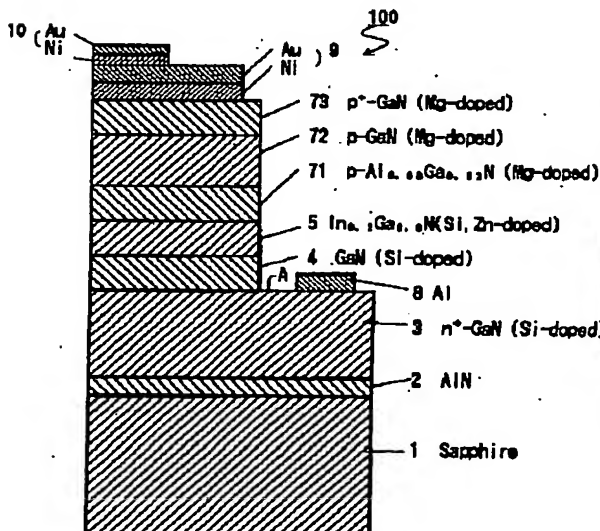
7 3 … 第 2 コンタクト層

8 … 電極

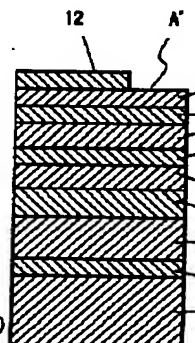
9 … 透明電極

1 0 … パッド

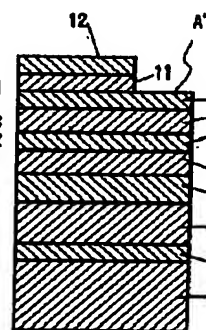
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

